

УДК 674.914:674.338

В. В. Раповец, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
А. А. Гришкевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
В. Н. Гаранин, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ НОЖЕЙ ФРЕЗ ДЛЯ АГРЕГАТНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

В статье содержатся результаты экспериментальных исследований по определению периода стойкости двухлезвийных ножей, упрочненных методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности, путем нанесения износостойких TiN-, ZrN-покрытий. Представлена методика проведения производственных испытаний ножей, рассчитаны значения приращения радиуса округления режущей кромки ножа при прохождении им пути резания в 1 м, которые позволяют прогнозировать период стойкости исследуемых ножей. Подтверждена целесообразность и эффективность применения упрочняющих технологий на ножках фрез для агрегатной обработки древесины.

In article results of experimental researches by definition the durability period double blade the knives reinforced by method CIB, by drawing wearproof TiN-, ZrN- coverings contain. The technique of conducting of industrial tests of knives is presented, values of an increment of radius of a rounding off of an active face of a knife are counted at passage of a way of cutting by it in 1 m which allow to predict the period of durability of investigated knives. The expediency and efficiency of application of reinforcing production engineering on knives of cutters for modular machining of wood is confirmed.

Введение. В настоящее время на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь для механической обработки древесины используется различный режущий инструмент, выполненный из сталей: углеродистых, легированных и быстрорежущих. Широко используется составной и сборный режущий инструмент с пластинами из твердого сплава в основном импортного производства. Выбор той или иной марки материала для изготовления дереворежущего инструмента зависит от многих факторов: типа инструмента, геометрических его параметров, физико-механических свойств обрабатываемого материала, режимов обработки, обеспечения необходимой производительности и т. д.

Потеря режущей способности инструментом (износ) для обработки древесины и древесных материалов представляет собой достаточно сложный комплекс взаимосвязанных физико-механических, тепловых и химических явлений, которые проявляются при резании непосредственно в зоне взаимодействия лезвия с обрабатываемым материалом.

К поверхностным упрочняющим слоям лезвий дереворежущего инструмента предъявляются следующие требования: высокая твердость, прочность, температуростойкость и теплопроводность инструментального материала [1, 2]. В зоне резания выделяется большое количество теплоты, и в результате такого термического воздействия образуются агрессивные химические соединения, коррозионно изнашивающие поверхность режущего инструмента. Дереворежущий инструмент имеет достаточно не-

большие углы заострения (до 60°), поэтому применение толстых износостойких слоев является нецелесообразным, режущая кромка будет выкрашиваться в работе. Поверхностное упрочнение должно выполняться таким образом, чтобы после переподготовки режущего инструмента поверхностные упрочненные слои продолжали выполнять свои функции.

Исследования в области упрочнения поверхностей режущего инструмента показывают, что период стойкости последнего целесообразно повышать с помощью методов физико-химической обработки поверхностных слоев кромок фрезерных ножей, способствующих созданию новых износостойких материалов в поверхностных слоях, а также изменяющих характер затупления лезвий ножей [3].

Известно, что использование метода конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ) позволяет значительно увеличить физико-механические свойства различных материалов, в частности микротвердость, теплостойкость, коррозионную стойкость и другие, существенно увеличивая значение периода стойкости ножей дереворежущих фрез.

Основная часть. Специфика агрегатной обработки натуральной древесины ножами фрез с получением пиломатериала и технологической щепы, в отличие от резания плитных материалов, заключается в том, что процесс образования стружки происходит на передней поверхности. Эта особенность отражается на характере износостойкости лезвия: более интенсивно изнашивается его передняя поверхность, по ко-

торой скользят образуемые элементы технологической щепы [4].

Из этого следует, что упрочнение режущих лезвий ножей следует проводить по их передней поверхности, что позволяет, с одной стороны, снизить основной износ ножа, а с другой – сохранить упрочненный слой на передних поверхностях лезвий после восстановления режущей способности (заточки по задним поверхностям) длинного и короткого лезвий ножа.

Износостойкие покрытия TiN, ZrN осаждались на поверхности двухлезвийных ножей фрез станков PSP 500 методом КИБ на вакуумной установке ВУ-1Б «Булат» (рис. 1), имеющейся на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ.

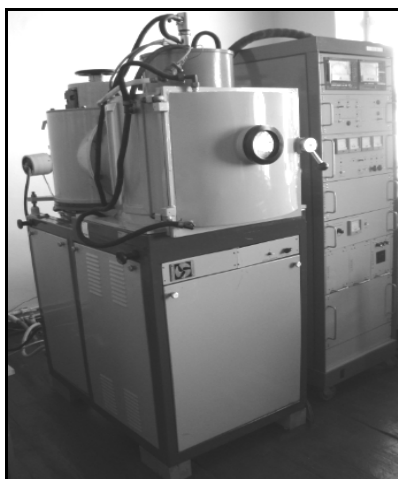


Рис. 1. Установка вакуумная ВУ-1Б «Булат»

Осаждение покрытий на поверхности двухлезвийных ножей в два этапа на четырех различных режимах: первый этап – с предварительной обработкой ионами Ti, Zr в вакууме порядка 10^{-3} Па при потенциале подложки 1 кВ и последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении 100 В в среде азота при давлении 10^{-1} Па.

Для получения высокой адгезии износостойких TiN, ZrN покрытий к поверхности лезвия ножа выполнялась предварительная ионная очистка, изменялось время предварительного прогрева и варьировалось время непосредственного осаждения упрочняющего материал двухлезвийного ножа покрытия в диапазоне 5–15 мин. Температура среды при осаждении покрытий соответствовала значению 400–450°C. Толщина полученных покрытий на передней поверхности ножа не превышала 2 мкм.

Для оценки эффективности практического использования упрочняющих покрытий на поверхности ножей фрез, нанесенных высокоэнергетическим КИБ методом, опытные об-

разцы (рис. 2) были подготовлены на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ и испытаны на лесопильно-деревообрабатывающем предприятии ОАО «Борисовский ДОК».

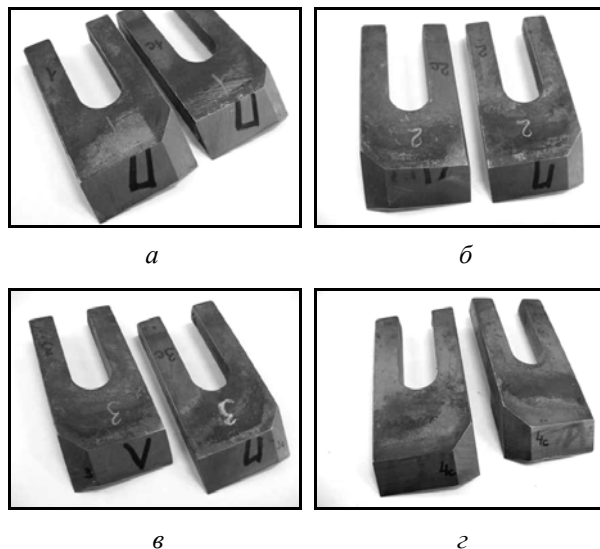


Рис. 2. Опытные двухлезвийные ножи станка PSP 500, упрочненные различными режимами нанесения износостойких покрытий:
а – на 1-м режиме TiN-покрытием;
б – на 2-м режиме TiN-покрытием;
в – на 3-м режиме TiN-покрытием;
г – на 4-м режиме ZrN-покрытием

Методика проведения опытно-промышленных испытаний упрочненных различными по физико-механическим свойствам TiN- и ZrN-покрытиями двухлезвийных ножей со спиральным расположением на многолезвийных торцово-конических фрезах состояла из следующих основных этапов:

- подготовка ножей фрез к работе (угол заточки длинного лезвия ножа 40°, угол заточки короткого лезвия ножа 40°, задний угол на лезвиях ножа 3–5°). Каждый нож был заточен и доведен до радиуса округления кромок лезвий 4–6 мкм);
- подготовка древесины и ее обработка на промышленных режимах (скорость резания ножами 18,8 м/с; скорость подачи 38,5 м/мин) до предельного затупления ножей [5];
- измерение радиуса округления режущих кромок ножей после их эксплуатации (методом слепков с последующим измерением значений на электронном микроскопе JEOL JSM-5610 с учетом начального радиуса округления режущих кромок ножей);
- расчет суммарного пути резания ножами.

Суммарный путь L резания в древесине ножом без упрочнения и с упрочненным поверхностным слоем вычислялся по формуле (1) [6]:

$$L = N \cdot \frac{L_{бр}}{S_z} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{\left(\frac{k l_{щ} \theta}{2\pi} + R \cdot \sin \theta\right)^2 + (R \cdot \cos \theta)^2} d\theta,$$

где N – количество обработанных бревен, шт.; $L_{бр}$ – длина бревна, м; S_z – подача на нож, мм; θ_1 – угол входа ножа в древесину, град; θ_2 – угол выхода ножа из древесины, град; k – число ножевых спиралей, шт.; $l_{щ}$ – длина элемента щепы, мм; θ – угол контакта ножа, град; R – радиус резания ножом фрезы, мм.

По рассчитанным значениям суммарного пути резания и измеренному радиусу округления кромки ножа рассчитывалось приращение ε , мкм/м, радиуса округления режущей кромки ножа при прохождении им пути резания в 1 м.

Сводные данные параметров обработки древесины хвойных пород на станке PSP 500 упрочненными ножами, например, TiN-покрытием на 1-м режиме, представлены в таблице.

Сводные данные параметров обработки древесины TiN упрочненными на 1-м режиме ножами на станке PSP 500

№ п/п	Порода древесины	Кол-во, м ³	Диаметр бревна, см	Высота бруса, мм	Путь резания, м
1	сосна	103,41	200	128	8842
2	сосна	89,64	240	128	7196
3	ель	114,99	160	106	11 920
4	ель	30,49	180	106	3084
5	ель	139,01	140	106	13 346
6	ель	38,51	200	106	3752
7	ель	66,95	220	106	6107
8	ель	28,33	240	154	2007
9	ель	17,53	140	106	1686
10	ель	38,51	200	106	3752
11	ель	56,95	220	106	5205
12	ель	28,33	240	154	2007
13	ель	38,03	240	154	2696
14	ель	63,86	260	154	4382
15	ель	91,93	280	154	6098
16	сосна	68,52	220	128	5678
17	сосна	85,92	240	128	6892
18	сосна	20,49	180	128	1720
19	сосна	90,36	260	154	6179
20	сосна	137,24	280	154	14 680
21	сосна	25,75	220	154	1804
22	ель	17,98	180	128	1510
Итого					120 543

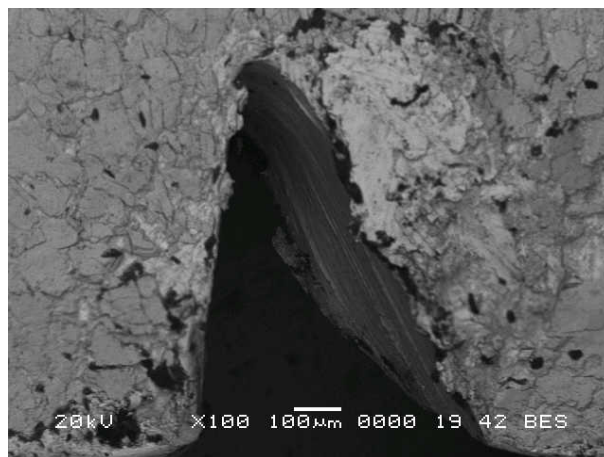
В процессе опытно-промышленных испытаний ножей фиксировались следующие параметры: обрабатываемая порода древесины, количество обработанного материала, диаметр обрабатываемого бревна, высота получаемого бруса. Эксперимент останавливался по дости-

жении ножами предельного радиуса округления режущих кромок [7].

Суммарный путь резания, пройденный неупрочненным и упрочненным на 1-м режиме ножами составил 120 543 м при достижении ими прироста радиуса округления режущей кромки ножа Δr , мкм, соответственно 60 мкм и 55 мкм (рис. 3). При этом приращение ε , мкм/м, радиуса округления режущей кромки ножей при прохождении им пути резания в 1 м для неупрочненного и упрочненного на 1-м технологическом режиме составили соответственно $4,977 \cdot 10^{-4}$ мкм/м и $4,563 \cdot 10^{-4}$ мкм/м, что увеличивает период стойкости и эффективность использования упрочненных ножей по сравнению с неупрочненными на 8%.



a



б

Рис. 3. Радиус округления режущей кромки ножей: *a* – неупрочненного ножа; *б* – упрочненного на 1-м режиме TiN-покрытием ножа

Аналогичным образом, испытаны на производстве ножи фрез с упрочненными поверхностями на 2, 3 и 4-м режимах с фиксированием и расчетом соответственно рассмотренных параметров.

Суммарный путь резания составил 134 952 метра при достижении Δr , мкм, ножами неупрочненным и упрочненными на 2-м и 3-м режимах соответственно 35 мкм, 35 мкм и 40 мкм. Приращение ϵ , мкм/м, радиуса округления режущей кромки ножей при прохождении ими пути резания в 1 м для не упрочненного и упрочненных на 2-м и 3-м режимах составило соответственно, $2,594 \cdot 10^{-4}$ мкм/м и $2,964 \cdot 10^{-4}$ мкм/м, что уменьшило период стойкости и снизило эффективность использования упрочненных ножей на 12%.

Четвертая серия проведенных экспериментов показала, что суммарный путь резания ножами составил 96 582 метра при достижении Δr , мкм, неупрочненным и упрочненным на 4-м режиме одинаковую величину в 45 мкм. Следовательно, приращение ϵ , мкм/м, радиуса округления режущей кромки ножа при прохождении им пути резания в 1 м для неупрочненного и упрочненного на 4-м режиме составило одинаковую для двух случаев величину порядка $4,659 \cdot 10^{-4}$ мкм/м, что не оказало влияния на период стойкости и не изменило эффективности использования не упрочненных методом КИБ ножей фрез.

Таким образом, для определения периода стойкости (времени до потери режущей способности) двухлезвийного ножа со спиральным расположением в корпусе фрезы должны быть известны технологические параметры процесса обработки. Путь резания ножом, рассчитанное значение приращения ϵ , мкм/м, радиус округления режущей кромки лезвия ножа при прохождении им пути резания 1 м позволяют рассчитать период стойкости ножей при агрегатной обработке древесины.

Заключение. Проведенные опытно-промышленные испытания упрочненных износостойкими TiN- и ZrN-покрытиями двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих на предприятии ОАО «Борисовский ДОК» в сравнении с неупрочненными ножами позволили оценить эффективность использования метода КИБ упрочнения двухлезвийных ножей для агрегатной обработки древесины. В процессе испытаний установлено, что различные режимы упрочнения поверхностей режущего инструмента могут улучшать, не оказывать влияния или, наоборот, ухудшать износостойкость ножей.

Результаты проведенных производственных испытаний подтвердили эффективность практического применения высокоэнергетических упрочняющих технологий для двухлезвийных ножей со спиральным расположением на фрезах фрезерно-брусующих станков для агрегатной обработки древесины.

Установленные технологические режимы нанесения на лезвия ножей тугоплавких материалов на основе TiN и ZrN с получением покрытий с различными физико-механическими свойствами позволяют увеличить период стойкости ножей до 8% и рекомендуются для промышленного использования, что повышает экономическую эффективность использования оборудования.

Проведенные опытно-промышленные испытания позволяют предположить, что аналогичные положительные результаты могут быть получены при использовании технологических режимов нанесения на лезвия ножей тугоплавких материалов на основе MoN, HfN и др. методом КИБ и высокоэнергетическими комбинированными методами упрочнения.

Литература

1. Кудинов, В. В. Плазменные покрытия: учеб. пособие / В. В. Кудинов. – М.: Наука, 1977. – 184 с.
2. Мигранов, М. Ш. Износостойкость режущего инструмента с многослойными покрытиями / М. Ш. Мигранов, Л. Ш. Шустер // Трение и износ. – 2005. – Т. 26. – № 3. – С. 304–307.
3. Демьяновский, К. И. Износостойкость инструмента для фрезерования древесины / К. И. Демьяновский. – М.: Лесная пром-сть, 1968. – С. 128.
4. Боровиков, Е. М. Лесопиление на агрегатном оборудовании / Е. М. Боровиков, Л. А. Фефилов, В. В. Шестаков. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 216 с.
5. Руководство по эксплуатации фрезерно-брусующей линии SAB на предприятии ОАО «Борисовский ДОК» / Sägewerksanlagen GmbH. – Bad Berleburg-Aue, 1996. – 382 с.
6. Раповец, В. В. Комплексная обработка древесины фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающая качество продукции и снижение энергозатрат: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / В. В. Раповец; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2011. – 206 л.
7. Раповец, В. В. Критерии временной стойкости двухлезвийных резцов фрезерно-брусующих станков в зависимости от требуемого качества продукции / В. В. Раповец, Н. В. Бурносков // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды II Междунар. Евраз. симпози., Екатеринбург, 2–5 окт. 2007 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2007. – С. 222–225.

Поступила 25.02.2013